

Reale Systeme im „virtuellen Labor“

Real Systems in “Virtual Laboratory”

Helmut Hoyer, Michael Gerke, Christof Röhrig, Andreas Bischoff, Ivan Masar und Ivan Ivanov

Internet-Technologien und neue Medien verändern die Ausbildung und den Erwerb von Information auch im Hochschul-Bereich nachhaltig. Speziell im Bereich der Automatisierungs- und Regelungstechnik sind hochwertige Animationen und Simulationen im Netz verfügbar, die durch Interaktion das Verständnis von Sachverhalten erleichtern. Die praktische Umsetzung von Lerninhalten wird durch Teleoperation von realen Systemen in „virtuellen Laborexperimenten“ über das Internet ermöglicht. Der Beitrag beschreibt einen Ansatz zur Teleoperation eines Brückenkranes und eines inversen Pendels und die dazu benötigte Infrastruktur und Systemarchitektur. Zudem wird hier ein Mehrbenutzer-Szenario vorgestellt, welches die zeitgleiche Kollaboration mehrerer Praktikusteilnehmer erlaubt.

Internet technologies and arising electronic media have a great impact on education and information access in universities. Especially in the domain of control systems education advanced simulation tools are available in the Internet, which support the comprehension of theory by means of interaction. Even practical implementation are made feasible through teleoperation of real systems in “virtual laboratories”. This paper describes an approach for teleoperation of a gantry crane and an inverted pendulum. It is mainly focused on infrastructural aspects and system architectures. Besides that a multi-user scenario is introduced, which allows synchronized cooperation of practising workgroups.

Schlagwörter: Teleoperation, Laborexperimente, Brückenkran, inverses Pendel

Keywords: Teleoperation, laboratory experiments, gantry crane, inverted pendulum

1 Einleitung

Internet-Technologien und neue Lehrmedien verändern den traditionellen Erwerb von Wissen und Information nachhaltig. Dies macht zukunftsorientierte Konzepte in Hochschulen erforderlich, um neue Lern- und Qualifikationspotenziale herauszubilden. Speziell für die regelungstechnische Ausbildung findet man neben umfangreichen elektronischen Dokumenten unterstützende Computersimulationen und „Virtual Reality“-Visualisierungen, inzwischen auch virtuelle Praktika, also Internet-gestützte Zugriffsmöglichkeiten auf die realen technischen Systeme im Labor [1]. Solche Laborexperimente stehen durch Teleoperation rund um die Uhr zur Verfügung und können auch hochschulübergreifend genutzt werden. Am Lehrgebiet für Prozesssteuerung und Regelungstechnik der FernUniversität in Hagen wurde ein fernbedientes automatisierungstechnisches Labor unter dem Projektnamen „Reale Systeme im virtuellen Labor“ entwickelt [2]. In der ersten Ausbaustufe wurde

in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Automatisierungstechnik und Prozessinformatik der Universität Bochum und dem Lehrstuhl für Elektrische Steuerung und Regelung der Universität Dortmund ein Labor mit drei regelungstechnischen Experimenten entwickelt [3]. Die dabei entstandenen Laborexperimente werden seit dem Sommersemester 2000 im regulären Praktikumsbetrieb eingesetzt. Aufbauend auf den Entwicklungen des Projektes und den Erfahrungen im praktischen Einsatz werden weitere Entwicklungen im BMBF-Projekt „LearNet“ durchgeführt [4].

Es werden derzeit folgende fernbedienbare automatisierungstechnische Laborexperimente entwickelt und in der Lehre eingesetzt:

- ein omnidirektionales Fahrzeug [5], dessen Geschwindigkeitsregelung nach erfolgter Modellbildung zu entwerfen und zu testen ist;
- eine Modelleisenbahn mit zwei Zügen, deren Fahrten mit einer SPS-Ablaufsteuerung abzusichern sind [6];

- ein Brückenkran (Zustandsregler, Fuzzy-Regler) und ein inverses Pendel (Fuzzy-Regler, Zustandsregler, kaskadierter Regler [7]).

Durch Teleoperation derartiger Experimente werden die räumlichen und zeitlichen Einschränkungen von lokal an Hochschulen aufgebauten Laboratorien überwunden; der Lernende bestimmt selbst den Ort und den Zeitpunkt seines Zugriffs auf das Laborpraktikum; zudem kann er Schritt haltend zu seinem individuellen Lernrhythmus theoretische Erkenntnisse zeitnah (und nicht reglementiert durch starre Praxisblöcke) an realen Systemen erproben. Damit wird der Fernlehre und der netzbasierten technischen Hochschulausbildung ein wesentlicher Baustein hinzugefügt, der die im Internet zur Verfügung gestellten Lehrtexte und Animationen bzw. interaktiven Simulationen um eine Schlüsselfunktion bereichert: das netzbasierte Experimentieren.

Erst das nach eigenen Vorgaben durchgeführte und beobachtete Experiment mit all seinen Phänomenen und nichtmodellierbaren Unwägbarkeiten fordert den Ingenieur bzw. Naturwissenschaftler zu einer ganzheitlichen Betrachtungsweise auch komplexer Systeme heraus, welche nur in beschränktem Maße gegenüber vereinfachenden und reduzierenden Annahmen resistent sind. Die Systemanforderungen werden im Abschnitt 2 dem Prinzip nach skizziert und dann im Abschnitt 3 diskutiert. Hierbei werden die verwendeten Werkzeuge und Technologien ausführlich erläutert. Im Abschnitt 4 wird dann auf die Problematik der Gruppenarbeit im Internet eingegangen.

2 Systemanforderungen

Die Teleoperation von Laborexperimenten durch Studierende von ihrem Heimarbeitsplatz aus stellt nachstehende Anforderungen:

- Zugriffssteuerung und Sicherheit:*
Um den Zugriff auf die jeweilige Experimentieranlage zu ordnen, sind automatisierte Zeitreservierungen und Zugangskontrollen erforderlich. Zudem muss die Anlage durch Datenvalidierung vor Beschädigung geschützt werden.
- Fernsteuerung und Versuchsbeobachtung:*
Für die Teleoperation des Experimentes ist dem Anwender eine komfortable Infrastruktur zur Verfügung zu stellen; diese minimiert gleichzeitig die unabsichtliche Übergabe von mangelhaften Versuchsparametern. Eine online-Beobachtung in jeglicher Form von Telepräsenz (Video, Audio, „Virtual Reality“) vermittelt den subjektiv wichtigen Eindruck von der ausgelösten Live-Aktion. Die tatsächliche Versuchsauswertung erfolgt dann im Nachgang zum Experiment durch Analyse der übermittelten Messdaten (Fernmessung).
- Tele-Gruppenarbeit:*
Bei der Internet-basierten Teleoperation von Experimenten sind zur Bildung von Arbeitsgruppen synchrone Kommunikationstechniken erforderlich, die eine

zeitgleiche Beobachtung von Versuchsvorbereitung und Durchführung mit wechselseitiger Kommunikation ermöglichen. Virtuelle Kooperationsumgebungen erlauben allen Beteiligten eine komfortable bidirektionale Einbindung in die Laborgeschehnisse in Echtzeit.

d) Technische Anforderungen an den Nutzer:

Die Akzeptanz eines virtuellen Labors hängt ganz wesentlich von der für die Durchführung erforderlichen Infrastruktur ab. Daher ist die erforderliche Übertragungsbandbreite so zu bemessen, dass im Standard-ISDN und im digitalen Telefonnetz eine erfolgreiche Teleoperation möglich ist. Zudem sind an die Hardware und Software der Computersysteme auf Anwenderseite möglichst geringe Anforderungen zu stellen. Es sollte im Idealfall lediglich ein aktueller Web-Browser benötigt werden. Insbesondere sollte auf umfangreiche Downloads und Installationen noch im Vorfeld der Versuchsdurchführung möglichst verzichtet werden.

3 Aufbau eines virtuellen Labors

An der FernUniversität in Hagen existieren bereits mehrere fernsteuerbare Laborversuche; weitere regelungstechnische Versuche sind derzeit in der Entwicklung, welche verschiedene Reglerentwürfe an einem Brückenkran und an einem inversen Pendel verdeutlichen. Neben der Erstellung von neuen Laborexperimenten steht die Entwicklung eines Frameworks im Zentrum, welches die Integration neuer Experimente erleichtert. Mit dem Framework werden immer wiederkehrende Funktionalitäten wie Zugriffsverwaltung, Medienübertragung und -darstellung sowie die Tele-Gruppenarbeit abgedeckt.

3.1 Kommunikationsstruktur

Die Kommunikationsstruktur basiert im Wesentlichen auf einer in der Programmiersprache Java implementierten Client/Server-Architektur. Die Kommunikation zwischen den Anwendern und dem Experiment wird über einen modularen Server im Labor abgewickelt und basiert auf den Internet-Protokollen. Die zugrunde liegende Systemarchitektur und Kommunikationsstruktur ist in Bild 1 grafisch wiedergegeben. Den Server-Modulen stehen auf der Seite des Clients Java-Applets gegenüber, die die Funktionalitäten auf der Anwenderseite realisieren.

Die Bedienung des virtuellen Labors erfolgt mittels eines Web-Browsers, mit dem sowohl Information ausgetauscht werden kann, als auch Software als Java-Applet ablauffähig ist. Die Java-Applets werden beim Darstellen der Web-Seite vom Server nachgeladen und gestartet, sodass eine Installation auf dem Client nicht notwendig ist. Auf diese Weise ist es auch nicht notwendig, bei Weiterentwicklungen der Software ein Update auf dem Client durchzuführen. Die Kontaktaufnahme erfolgt über den Web-Browser des Anwenders mittels HTTP (Hypertext Transfer Protocol). In der so geladenen Web-Seite wird die Client-Software

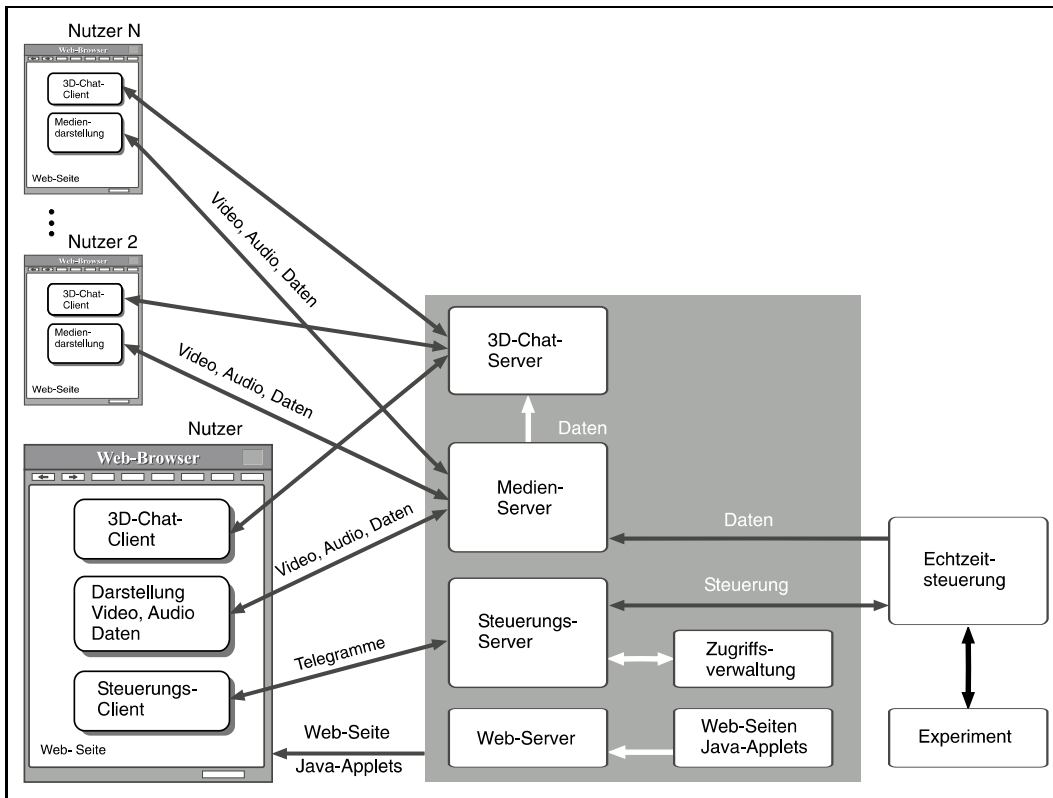


Bild 1: Systemarchitektur und Kommunikationsstruktur.

als Java-Applets zur Versuchssteuerung, Telepräsenz und Messwertauswertung bereitgestellt.

Die Systemarchitektur erlaubt die Verbindung mehrerer Clients mit dem Server, dadurch ist die Bearbeitung des Laborexperiments in einer Gruppe von Studenten möglich. Um Kollisionen zu vermeiden, ist es jedoch nur einem Studierenden zu einem Zeitpunkt erlaubt, das Experiment zu steuern und Befehle zu senden. Die anderen Studierenden können das Experiment beobachten und Daten analysieren. Die Kommunikation der Gruppe untereinander wird über einen 3D-Chat ermöglicht, welcher im Abschnitt 4 näher erläutert wird.

3.2 Versuchssteuerung und Zeitplanung

Der Zugriff auf alle Experimente wird über ein zentrales Reservierungssystem abgewickelt, welches in Java implementiert ist und zur Speicherung der zeitlichen Zugriffsrechte und Nutzer-Kennungen eine Datenbank verwendet. Die in [8] vorgestellte Lösung wurde zu einem universellen netzbasierten Reservierungs- und Planungssystem weiterentwickelt. Um eine größtmögliche Flexibilität zu erhalten, erfolgt die Reservierung von den Studierenden selbst. Nach Ablauf von erforderlichen Vorbereitungen auf den Praktikumsversuch und Bestätigung durch den Versuchsbetreuer erhält der Studierende eine Benutzerkennung und für jedes durchzuführende Experimente ein Zeitquotum. Die Zeitquoten können zur Reservierung von Versuchszeit genutzt werden. Bei der Zeitreservierung erhält der Benutzer im Web-Browser einen Terminkalender mit freigeschalteten Terminen. Durch Markieren eines Termins erhält der Benutzer zum gewünschten Zeitpunkt alleiniges Zugriffsrecht

auf das gewählte Experiment. Die reservierte Versuchszeit wird in der Datenbank gespeichert und vom Zeitquotum abgezogen, um eine gerechte Zeiteinteilung zu gewährleisten. Das Benutzer-Interface ist in Bild 2 dargestellt.

Zum ausgewählten Zeitpunkt ist es dem Benutzer möglich, eine Verbindung mit dem Versuchsserver aufzunehmen und die Steuerung des Experimentes zu übernehmen. In einem Steuerungs-Applet (Bild 3) können dann die Einstellungen für den Versuch vorgenommen werden. Hier werden Start- und Stoppzeiten sowie Reglerparameter eingegeben und damit die Positionsregelung gestartet. Zudem

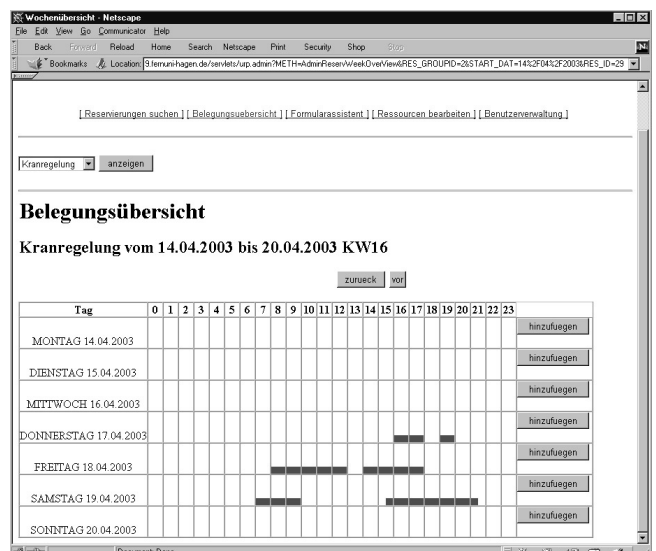


Bild 2: Universelles netzbasiertes Reservierungs- und Planungssystem.

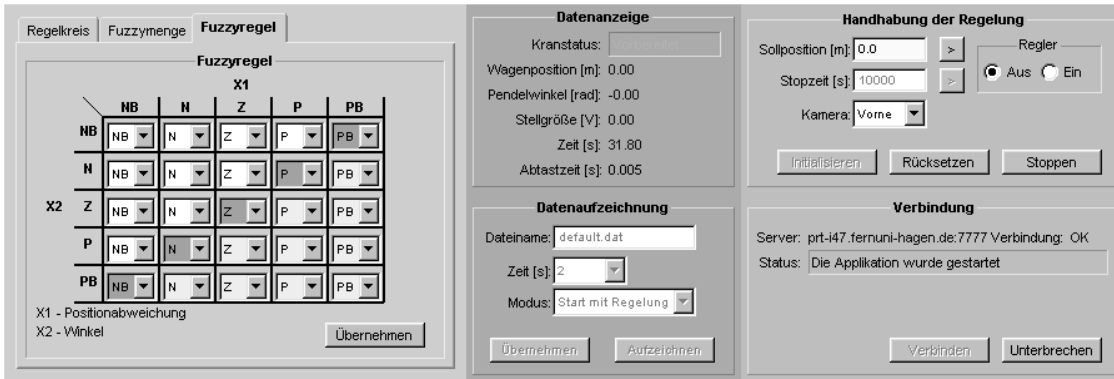


Bild 3: Steuerungs-Applet zum Laborversuch „Brückenkran“.

sind Signalwerte anwählbar, und der Status der Applikation wird mitgeteilt. Die Anwahl erfolgt über Schaltflächen im Steuerungs-Applet.

Zur Steuerung und Regelung des eigentlichen Experiments kommt aufgrund der Echtzeitanforderungen ein eigener Rechner mit Echtzeitbetriebssystem zum Einsatz. Dieser erhält vom Experiment-Server die Steuerungsbefehle und erfasst die relevanten Messdaten.

3.3 Telepräsenz

Die Studierenden sollen durch Übertragung von sensorischen Informationen das Gefühl bekommen, im entfernten Labor präsent zu sein. Um dem Benutzer das Gefühl eines echten Laborexperimentes zu vermitteln, ist es notwendig, möglichst viele Eindrücke aus dem Labor zu übertragen.

Mit den heute üblichen Multimedia-PCs sind nur visuelle und akustische Informationen darstellbar. Insbesondere die Übertragung von Videodaten belastet mit einer hohen Datenrate die Netzankopplung des Clients. Je nach verfügbarer Bandbreite kann der experimentierende Student einen Live Video- und Audio-Stream anfordern, um ein Gefühl der Telepräsenz im Labor zu erhalten. Auf der Client-Seite ist dazu Java Media Framework (JMF) [9] erforderlich, während ein MediaStreaming-Server [4] den Datenstrom je nach Bandbreiteankopplung des Clients grabbt, komprimiert und versendet. Neben der Darstellung von Video- und Audio-Streams ist auch durch die Darstellung von virtueller Realität die Erzeugung von Telepräsenz möglich. Die vom Server zur Verfügung gestellten „Virtual Reality“-Modelle werden dazu innerhalb des Web-Browsers visualisiert und mittels Messdaten aktualisiert. Bild 4

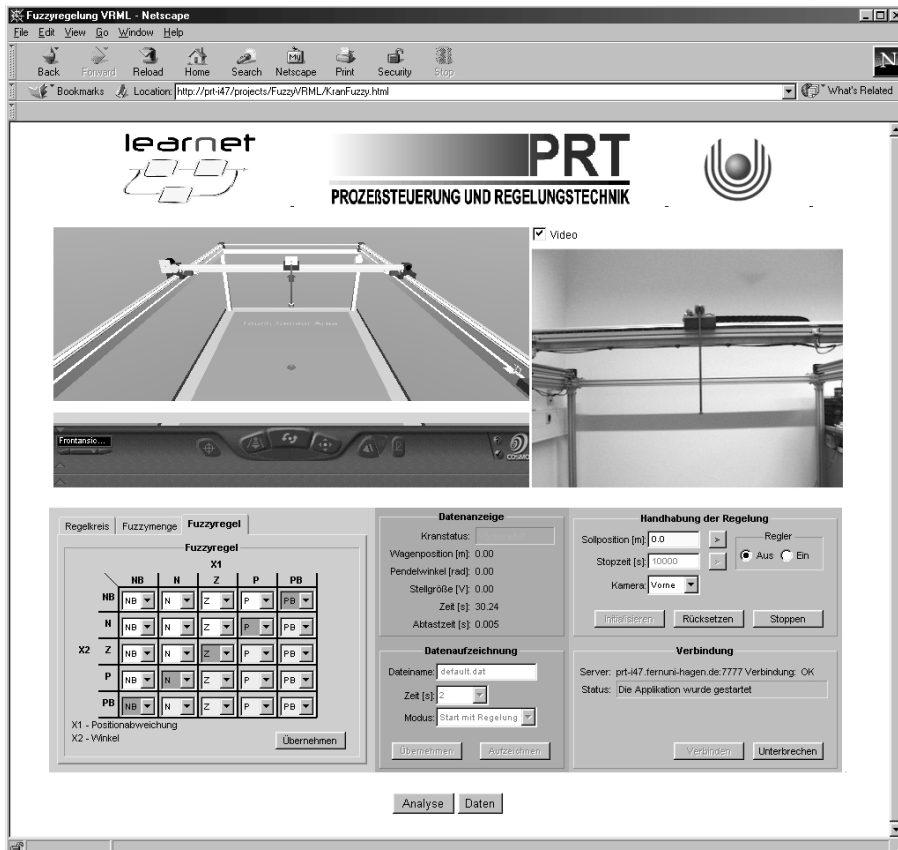


Bild 4: Versuchsdurchführung im Web-Browser.

zeigt einen Screenshot eines Web-Browsers bei der Versuchsdurchführung mit Steuerungs-Applet, Video/Audio-Applet und Darstellung des Experiments in virtueller Realität.

3.4 Übertragung und Darstellung von Messwerten

Zur Analyse der Ergebnisse des Experiments müssen alle wichtigen Daten der Regelung und der Strecke aufgezeichnet werden. Die aufgezeichneten Messdaten können dann wahlweise zur Laufzeit des Experiments oder danach übertragen werden. Werden die Messwerte zur Laufzeit des Experimentes an die Clients gesendet, können die Studierenden direkt anhand der Live-Darstellung der Messwerte mittels Messwert-Applet den Fortschritt des Experiments verfolgen. Die Messdaten werden dazu während der Versuchsdurchführung vom Echtzeitrechner erfasst und an den Server gesendet, welcher diese wiederum an alle Clients streamt. Die gestreamten Messwerte werden dann in den Clients mittels der Messwert-Applets erfasst und angezeigt (Bild 5). Alternativ dazu können die Messwerte auch auf dem Server zwischengespeichert und nach Ablauf des Experiments heruntergeladen werden. Die Datenanalyse ist dann mittels eines Analyseprogramms auch offline möglich.

4 Gruppenarbeit im Internet

Auf die Option der Gruppenarbeit zur didaktischen Vermittlung von Problemlösungsstrategien im Team muss auch bei Internet-Experimenten nicht verzichtet werden. Mittels Java-basierter Technologien können auch Web-Browser als Interface zur Tele-Gruppenarbeit dienen [10]. Ein möglicher Ansatz hierzu ist die Verwendung von „virtueller

Realität“ zum Aufbau einer kollaborativen Arbeitsumgebung. Dazu wird im Browser des Anwenders zusätzlich eine VRML-Darstellung (Virtual Reality Modelling Language) der Laborszenarie aufgebaut; über das „External Authoring Interface“ (EAI) können alle modellierten Objekte manipuliert werden. So kann vom Versuchserver jede Veränderung am Experiment mitgeteilt und unmittelbar im vorhandenen VRML-Modell berücksichtigt werden. Die aktuellen Geschehnisse im Labor werden in dieser Darstellungsform deutlich besser visualisiert als im Videostream; zudem erspart dies Übertragungsbandbreite.

Für die Gruppenarbeit interessant ist ein weiterer Aspekt des VR-Szenarios. So kann eine Gruppe von gleichzeitig über das Internet präsenten Anwendern in dieser „virtuellen Laborwelt“ Gestalt annehmen. Dazu wählt jeder Anwender einen VR-Körper (Avatar) und kann diesen über das EAI in der Laborwelt bewegen und mit Anderen kommunizieren (Bild 6).

Die Darstellung des VRML-Modells kann dabei sowohl mit einem VRML-Browser-Plugin als auch mit einem Java-Applet-basierten VRML-Renderer erfolgen. Die Java-Applet-basierte Lösung bietet aufgrund ihrer Plattform-unabhängigkeit eine höhere Flexibilität gegenüber den Browser-Plugins, welche im Binärformat vorliegen und vom Benutzer auf dem Client-Rechner installiert werden müssen. Aufgrund der Implementierung im Binärformat bieten Browser-Plugins jedoch in der Regel eine höhere Rendering-Geschwindigkeit und die Möglichkeit, Optimierungen von speziellen Grafikkarten zu nutzen. Technische Details dazu finden sich in [11]. Ein alternativer Ansatz ist die Kombination eines Labor-Videostreams mit integrierten Avataren, eine so genannte „Augmented Reality“ [12].

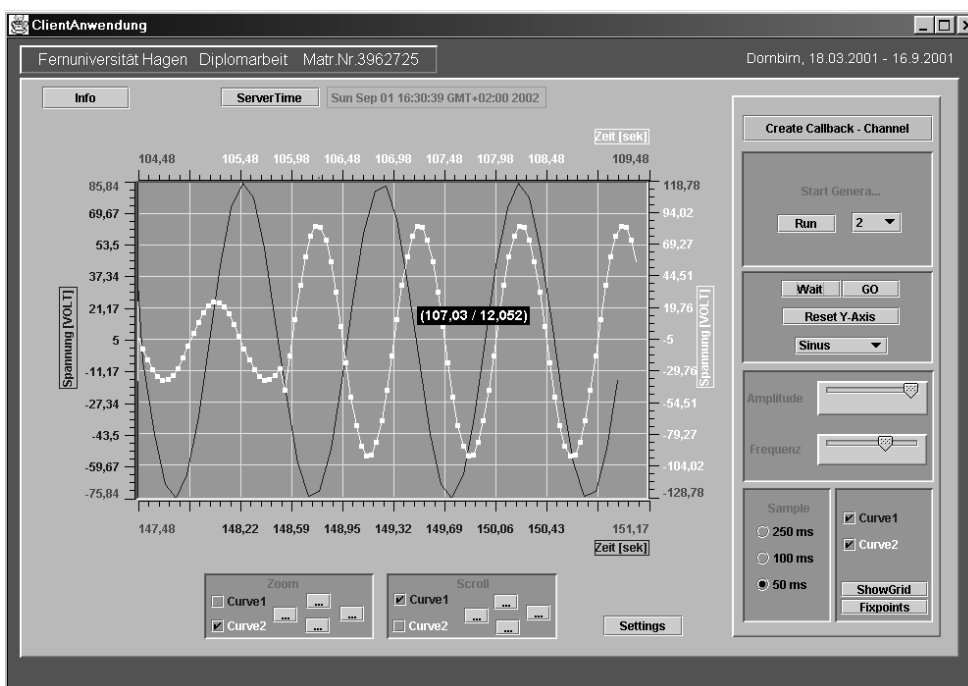


Bild 5: Live-Darstellung von Messwerten.



Bild 6: 3D-Chat mit Avataren und Darstellung des Versuchsaufbaus in virtueller Realität.

5 Ergebnisse und Ausblick

Die in diesem Beitrag skizzierten Teilaspekte „realer Systeme im virtuellen Labor“ werden für verschiedene Versuchsanordnungen entwickelt und evaluiert. Dabei ist zu beobachten, dass sich die Akzeptanz der Tele-Experimente durch die wachsende technische Ausstattung (ISDN, DSL) bei den (Fern-)Studierenden stetig erhöht. Aber auch bei geringer verfügbarer Übertragungsrate (z.B. Modem) kann mittels virtueller Realität eine qualitativ hochwertige Beobachtung der Experimente erfolgen. Beim ausschließlichen Einsatz von virtueller Realität kann allerdings das Gefühl des realen Experimentes verloren gehen. Es wurde beobachtet, dass Studenten bei der Durchführung des Experimentes dann annehmen, es handele sich um eine Simulation. Deshalb ist auch bei geringer Übertragungsrate die Verwendung eines hochkomprimierten Videostreams mit stark reduzierter Qualität ratsam, um das Gefühl eines realen Experimentes zu vermitteln. Die Verwendung eines Audiostreams erhöht die Realitätsempfindung zusätzlich. Es kann von den Autoren jedoch mangels repräsentativer Untersuchungen nicht angegeben werden, welchen konkreten Einfluss die einzelnen Medien (Video, Audio, virtuelle Realität) auf den Lernerfolg der Praktikumssteilnehmer haben.

Die technische Voraussetzung für eine Nutzung der Tele-Experimente ist der uneingeschränkte Zugang zum Internet. Limitierungen des Internetzuganges durch Firewalls oder die Nutzung von privaten IP-Adressen mittels NAT (Network Address Translation) können den Versuchsbetrieb einschränken oder ihn ganz verhindern. Durch die VPN-Infrastruktur (Virtual Private Network) der FernUniversität können diese Probleme mittlerweile erfolgreich überwunden werden.

Auf der Anwenderseite ist als Software neben dem Web-Browser Java Media Framework und gegebenenfalls ein VRML-Plugin erforderlich. Da diese Technologien zur Geschwindigkeitssteigerung nativen Binärcode nutzen, ist eine Installation auf der Anwenderseite nicht zu vermeiden. Zur Erleichterung der Installation wird den Studierenden der FernUniversität zur Praktikumsdurchführung eine CD-ROM mit den erforderlichen Komponenten zur Verfügung gestellt. Die CD-ROM enthält zusätzlich einen vorkonfigurierten Web-Browser, der die Praktikumsdurchführung direkt von der CD-ROM ohne Installation ermöglicht. Die Nutzung von Java Web Start [13] würde die Installation auf der Anwenderseite automatisieren, das VRML-Plugin müsste dann allerdings durch Java-Technologien (Java3D) ersetzt werden.

Die Motivation der Fernstudenten zur Durchführung von Tele-Experimenten ist neben dem Interesse an den neuen Technologien hauptsächlich durch die Einsparung von Präsenzzeit begründet. Im Diplomstudiengang Elektrotechnik der FernUniversität können bei Durchführung von vier Tele-Experimenten zwei Präsenztage eingespart werden. Der zusätzliche Aufwand bei der Durchführung der Tele-Experimente wird deshalb gerade von berufstätigen Studierenden gerne in Kauf genommen, um Urlaubstage einzusparen.

Nach wie vor ist das zentrale Problem bei der Durchführung von Tele-Experimenten die tutorielle Betreuung der Versuchsdurchführung. Diese erfolgt mittels der 3D-Chat-Umgebung oder aber auch per Telefon. Berufstätige Fernstudenten nutzen in der Regel die Abendstunden und das Wochenende, um die Experimente durchzuführen. Eine tutorielle Betreuung ist zu diesen Zeiten schwer zu organisieren. Die Möglichkeit der Tele-Gruppenarbeit hilft einen Teil der Probleme zu lösen, treten jedoch grundsätzliche Schwierigkeiten auf, muss die Versuchsdurchführung abgebrochen und zu einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt werden. Ein Teil der Studierenden scheut vor diesem Hintergrund die Durchführung von Fernversuchen und zieht die Versuchsdurchführung mit lokaler Betreuung vor. Die Durchführung von Tele-Experimenten kann deshalb aus Sicht der Autoren nur ein Angebot an die Studierenden sein. Eine Durchführung der Experimente vor Ort sollte zusätzlich angeboten werden, um dem Bedürfnis nach lokaler tutorieller Betreuung nachzukommen.

Der hochschulübergreifende Einsatz von Tele-Experimenten im Präsenzstudium ist nicht diesen Schwierigkeiten ausgesetzt. Probleme mit zu geringer Übertragungsrate sind in der Regel nicht zu erwarten, da die Anbindung der Hochschulen an das Internet breitbandig erfolgt. Die Versuchsdurchführung erfolgt an dediziert für das Praktikum vorbereiteten Rechnern, sodass auf Seite der Studierenden kein zusätzlicher Aufwand notwendig ist. Gruppenarbeit mit tutorieller Betreuung kann wie üblich lokal erfolgen.

Die entwickelten Techniken und Methoden sind auch auf industrielle Anwendungsbereiche projizierbar. Denk-

bar sind auch Szenarien des „e-Learning“ (z. B. firmeninterne Weiterbildung), Schulungen von Bedienpersonal (z. B. durch Anlagenhersteller) mit darin integrierten „realen“ Praxisblöcken als „e-Learning“ und „e-Industrial Service“, aber auch die Integration dieser Entwicklungen in Systeme zur Fernwartung von technischen Anlagen an entfernten Kundenstandorten.

Danksagung

Die hier beschriebenen Arbeiten sind teilweise im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes ‚LearNet‘ entstanden; dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 08NM101-D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- [1] S. Dormido: Control Learning: Present and Future. In Proc. 15th IFAC World Congress on Automatic Control, Barcelona, Spanien, 2002.
- [2] Reale Systeme im virtuellen Labor: <http://rsvl.fernuni-hagen.de/>
- [3] C. Schmid, H. Hoyer, A. Jochheim, H. Kiendl, P. Krause, J. Praczyk, C. Röhrig: Experimentieren und Lernen im virtuellen Labor. Tagungsband zum 3. VDI/VDE-GMA-Aussprachetag „Rechnergestützter Entwurf von Regelungssystemen“, Dresden, 2001.
- [4] BMBF-Projekt „LearNet“, <http://www.learnnet.de>, Bundesförderprogramm „Neue Medien in der Bildung“, Förderkennzeichen: 08NM101.
- [5] H. Hoyer, A. Jochheim, C. Röhrig: Teleoperation von Laborexperimenten, at-Automatisierungstechnik 49 (8), S. 344–352, 2001.
- [6] SPS-Weiterbildungsangebot der FernUniversität in Hagen gemeinsam mit der SIEMENS AG, Bereich Automatisierungstechnik, <http://prt.fernuni-hagen.de/sps/spsrail/>
- [7] H. Hoyer, M. Gerke, I. Masar, I. Ivanov, C. Röhrig, A. Bischoff: Virtual laboratory for Real-Time Control of Inverted Pendulum/Gantry Crane. In Proc. 11th Mediterranean Conference on Control and Automation, Rhodos, Griechenland, 2003.
- [8] C. Röhrig, A. Jochheim: Java-based Framework for Remote Access to Laboratory Experiments. In Proc. IFAC/IEEE Symposium on Advances in Control Education, Gold Coast, Australien, 2000.
- [9] Sun Microsystems: Java Media Framework <http://java.sun.com/products/java-media/jmf/>
- [10] J. Oliveira, M. Hosseini, S. Shirmohammadi, F. Malric, S. Nourian, A. El Saddik, N. Georganas: Java Multimedia Telecollaboration. IEEE Multimedia Magazine, 10 (3), S. 18–29, 2003.
- [11] A. Bischoff, C. Röhrig: A Multiuser Environment for Remote Experimentation in Control Education. In Proc. IFAC Workshop on Internet Based Control Education, Madrid, Spanien, 2001.
- [12] A. Rastogi, P. Milgram, J.J. Grodski: Augmented Telerobotic Control: A visual interface for unstructured environments. In Proc. Knowledge Based Systems and Robotics Conference, Montreal, Kanada, 1995.
- [13] Sun Microsystems: Java Web Start <http://java.sun.com/products/javawebstart/>

Manuskripteingang: 13. Mai 2003.

Prof. Dr.-Ing. Helmut Hoyer ist Inhaber des Lehrgebietes Prozesssteuerung und Regelungstechnik und Rektor der FernUniversität in Hagen. Hauptarbeitsgebiet: Servicerobotik. Als Rektor fördert er entscheidend den Weg der FernUniversität hin zu einer virtuellen Universität.

Adresse: FernUniversität Hagen, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrgebiet für Prozesssteuerung und Regelungstechnik, Universitätsstraße 27, D-58097 Hagen,
E-Mail: helmut.hoyer@fernuni-hagen.de

Dr.-Ing. Michael Gerke ist seit 2001 Professorenvertreter am Lehrgebiet Prozesssteuerung und Regelungstechnik der FernUniversität Hagen. Hauptarbeitsgebiete: CI-Techniken, Mobile Robotersysteme.

Adresse: siehe oben,
E-Mail: michael.gerke@fernuni-hagen.de

Dipl.-Ing. Christof Röhrig ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrgebiet Prozesssteuerung und Regelungstechnik der FernUniversität Hagen. Hauptarbeitsgebiete: Antriebsregelung, Teleoperation von Laborexperimenten.

Adresse: siehe oben,
E-Mail: christof.roehrig@fernuni-hagen.de

Dipl.-Ing. Andreas Bischoff ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrgebiet Prozesssteuerung und Regelungstechnik der FernUniversität Hagen. Hauptarbeitsgebiete: Computer Supported Collaborative Learning (CSCL), Teleoperation von Laborexperimenten.

Adresse: siehe oben,
E-Mail: andreas.bischoff@fernuni-hagen.de

Dipl.-Ing. Ivan Masar ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrgebiet Prozesssteuerung und Regelungstechnik der FernUniversität Hagen. Hauptarbeitsgebiete: Mobile Robotersysteme, Teleoperation von Laborexperimenten.

Adresse: siehe oben,
E-Mail: ivan.masar@fernuni-hagen.de

Dipl.-Ing. Ivan Ivanov war bis Dezember 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrgebiet Prozesssteuerung und Regelungstechnik der FernUniversität Hagen. Hauptarbeitsgebiet: Teleoperation von Laborexperimenten. Seit Januar 2003 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Slowakischen Technischen Universität in Bratislava.

Adresse: Slowakische Technische Universität, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Ilkovicova 3, 812 19 Bratislava, Slowakei,
E-Mail: ivan.ivanov@kar.elf.stuba.sk